

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-218880
 (43)Date of publication of application : 18.08.1995

(51)Int.Cl.

G02F 1/015
 H01S 3/096
 // H01L 27/15

(21)Application number : 06-009024
 (22)Date of filing : 31.01.1994

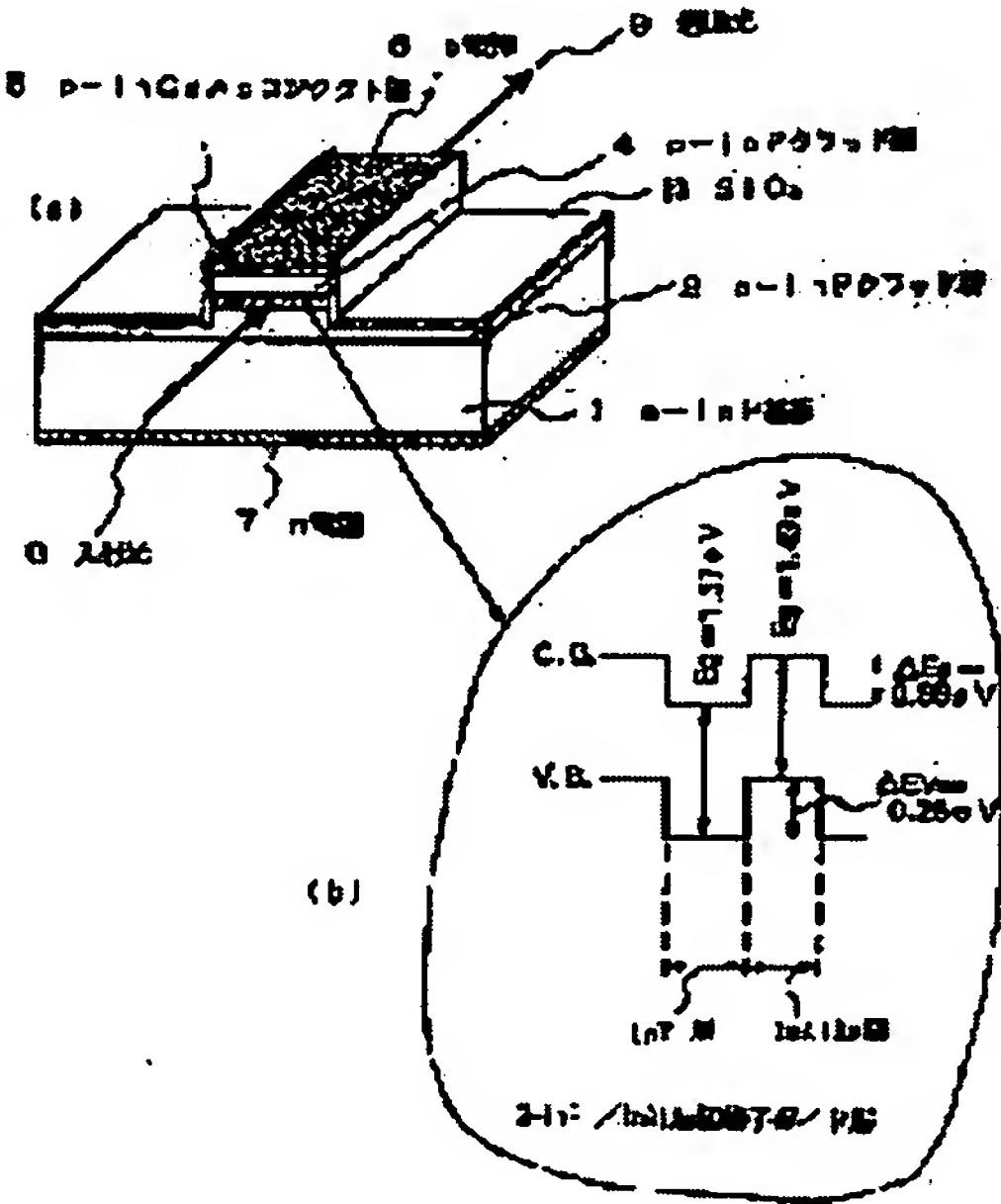
(71)Applicant : NEC CORP
 (72)Inventor : SHIMIZU JUNICHI
 MAKITA KIKUO

(54) OPTICAL SEMICONDUCTOR ELEMENT AND OPTICAL COMMUNICATION DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain an absorption type optical semiconductor element having a large absorption coefft. change by using a type II superlattice layer as a light absorption layer.

CONSTITUTION: An (n) type clad layer 2, an undoped InP/InAlAs superlattice guide layer 3, a (p) type InP clad layer 4 and a (p) type InGaAs contact layer 5 are successively laminated by a gas source molecular beam epitaxy growing method on an (n) type InP substrate 1. These layers are then etched down to middle of the (n) type clad layer 2 by reactive ion etching to form a rib waveguide. The undoped InP/InAlAs superlattice guide layer 3 is formed by laminating InP/InAlAs in 30 periods and is formed as a type II superlattice structure having a transmission band discontinuous quantity $\Delta E_V=0.3\text{eV}$ and a valency electron band discontinuous quantity $\Delta E_C=0.26\text{eV}$. The element is completed by forming electrodes on the rib waveguide and the rear surface of the substrate.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	15.11.1995
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	19.05.1998
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application].	
[Patent number]	3001365
[Date of registration]	12.11.1999
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	10-09600
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	18.06.1998
[Date of extinction of right]	

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7-218880

(43) 公開日 平成 7 年 (1995) 8 月 18 日

(51) Int.CI.⁶

識別記号 廈内整理番号

F I

技術表示箇所

G02F 1/015
H01S 3/096
// H01L 27/15

B 8832-4M

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平 6-9024

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 1 月 31 日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72) 発明者 清水 淳一

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 牧田 紀久夫

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

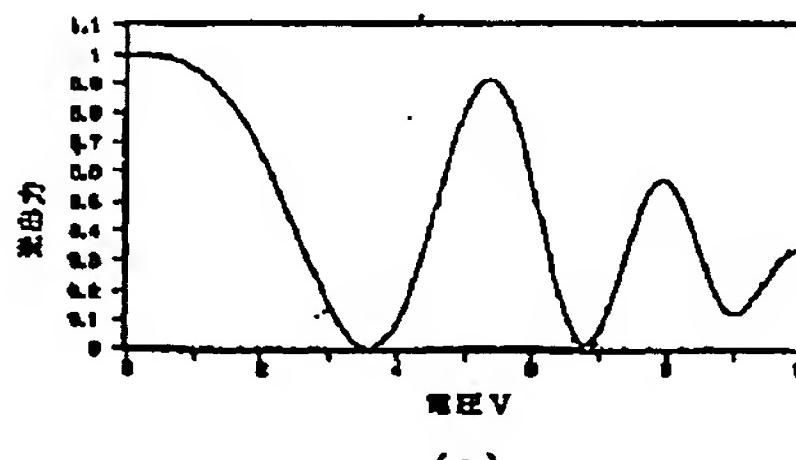
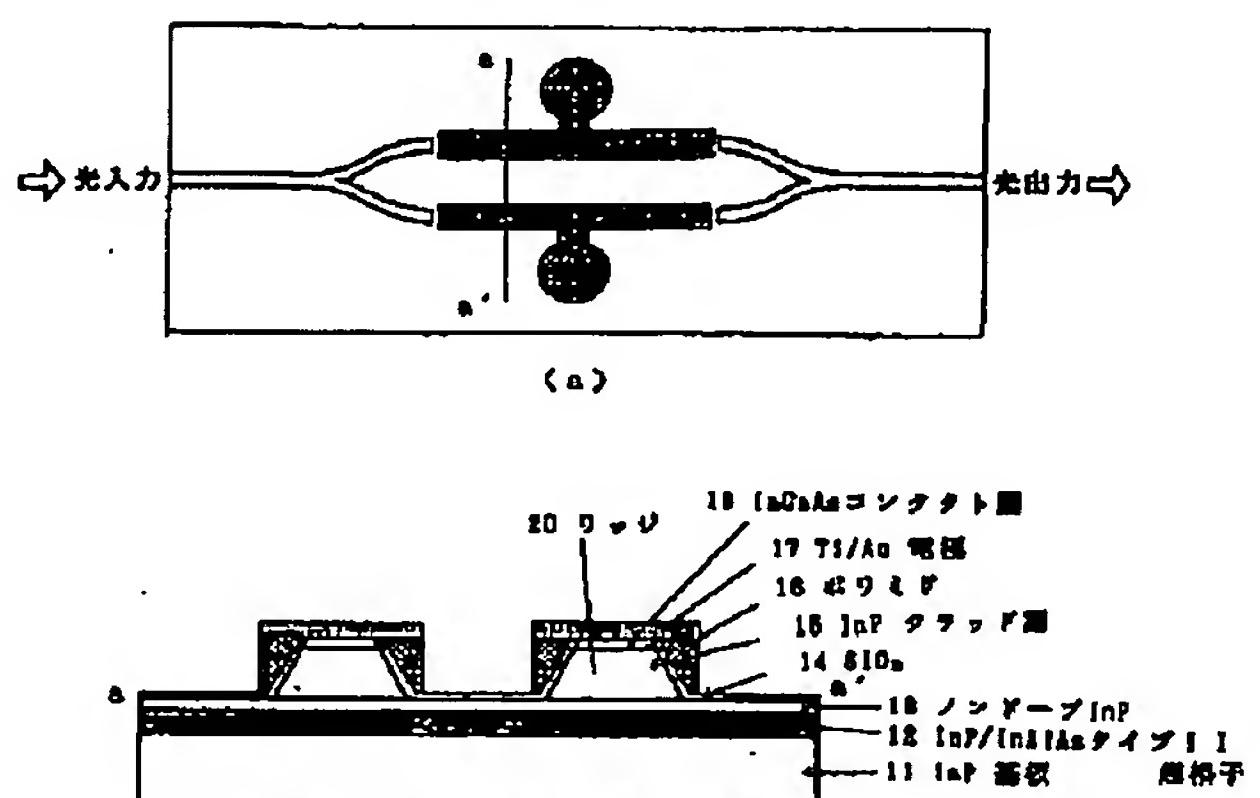
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外 2 名)

(54) 【発明の名称】光半導体素子及び光通信装置

(57) 【要約】

【目的】 タイプ II 超格子を用いることにより、従来よりも低損失、低消費電力が可能な光半導体素子を提供する。さらに本発明の素子を用いることで、従来の半導体レーザ直接変調を用いた光通信装置を大幅な変更無く、高速な光半導体素子を用いた光通信装置に置き換えることを可能とする。

【構成】 マッハツエンダ型光変調器のような屈折率変化が動作原理となる光半導体素子において、屈折率変化を生じさせる部分にタイプ II 超格子構造 3 を用いる。また、このタイプ II 超格子構造よりなる光半導体素子を含む光通信装置では、駆動回路の出力がオフの無電界時には光吸収により光出力は無く、駆動回路の出力がオンの電界印加時には光出力が得られるノーマリーオフの装置構成となる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体基板上に導電型クラッド層、ガイド層、逆導電型クラッド層を基本構造として有し、吸収係数変化または屈折率変化を生じさせる電界印加手段を有する半導体素子において、前記ガイド層の一部が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり、かつ半導体材料 1、2 の各々の電子親和力 χ_1 、 χ_2 、禁制帯エネルギー E_{ci} 、 E_{cv} が

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{\text{ci}} < \chi_2 + E_{\text{cv}}$$

なる関係を有することを特徴とする光半導体素子。

【請求項 2】光半導体素子が屈折率変化によって生ずる位相変化を用いるマッハツエンダ型に構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の光半導体素子。

【請求項 3】光半導体素子が少なくとも 2 本の交差する導波路の交点に位置する一部の半導体層の屈折率を変化させ、全反射によって光路を切り換える全反射型光スイッチとして構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の光半導体素子。

【請求項 4】請求項 1 に記載された光半導体素子を吸収型の外部変調器として含むことを特徴とする光通信装置。

【請求項 5】半導体レーザとその駆動回路と、外部変調器とその駆動回路とからなり、前記外部変調器が請求項 1 記載の光半導体素子からなる吸収型変調器であり、ノーマリオフ型であることを特徴とする光通信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信等に用いる光半導体素子及び光半導体素子を用いた光通信装置の構成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムは近年めざましい発展を遂げ、400 Mb/s、1.6 Gb/s 等の大容量の光通信システムが日本国内をはじめ、海底ケーブルを通じて外国との間にも導入されている。この光通信システムも、従来は半導体レーザを直接変調する方式で行っていた。しかしながら、将来の 10 Gb/s、40 Gb/s 等の超高速・大容量光伝送システムの実現のため、半導体レーザの直接変調方式から光の吸収変化や光の屈折率変化を動作原理とする光半導体素子を用いた外部変調器方式に移行されつつある。このため、より高性能な外部変調器の開発が重要となってきている。また、光ファイバ通信システムが広く実用化されるに伴って、交換機系の光化も要望が高まりつつある。光交換機を実現するための最も重要な光半導体素子としては光スイッチがある。

【0003】外部変調方式に用いられる光半導体素子として代表的な電界吸収型光変調素子は、光通信装置の小型化、容易性といった面で優れており、これまでに多く

の報告（例えば、電子情報通信学会の光量子エレクトロニクス研究会の技術報告；OQE 91-57, pp 69-74）があり、一部は商用レベルに到達しつつある。電界吸収型光変調素子の基本動作原理としては、図 7 (b) に示したバルク半導体層のフランツーケルディッシュ効果や図 7 (c) に示したタイプ I 超格子構造の量子閉じ込めシタルク効果 (QCSE) が良く知られている。ここでタイプ I 超格子構造とは、半導体材料 1、2 からなる超格子構造において、各々の電子親和力 χ_1 、 χ_2 、禁制帯エネルギー E_{ci} 、 E_{cv} が

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{\text{ci}} > \chi_2 + E_{\text{cv}}$$

なる関係を有する超格子構造を指す。

【0004】フランツーケルディッシュ効果や QCSE を用いた従来の電界吸収型光変調素子の構成を図 7 (a) に示す。概略的には、ノンドープ光吸収層を p 型クラッド層及び n 型クラッド層で挟み込んだ p-i-n 構造を基本構造とし、図 7 (b) や図 7 (c) のように、電界印加によって光吸収端近傍波長（図の変調波長）での光吸収の程度を制御することで光の変調を行う。

【0005】一方、光交換機に用いられる光スイッチもこれまでに多くの報告がある。その動作原理として、キャリア注入プラズマ効果による屈折率変化を用いた報告（例えば、電気学会の光・量子デバイス研究会 OQD-90-61, pp 27-31）や前記 QCSE に伴う屈折率変化を用いた報告がある。キャリア注入プラズマ効果を動作原理とした交差型光スイッチの構成を図 8 に示す。概略的には、ノンドープ光ガイド層を p 型クラッド及び n 型クラッドで挟み込んだ p-i-n 構造を有しており、電流を交差部に注入することで注入部の屈折率変化 ($\Delta n/n$) が負となるようにし、光の全反射条件を満たすときに光路が切り換わる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたような従来の吸収型光変調素子や光スイッチには次のような問題があった。

【0007】図 7 (a) に示した吸収型光変調素子では、図 7 (b) (c) のように、電界印加時に光吸収端波長が長波長側にシフト（レッドシフト）するが、特にフランツーケルディッシュ効果を用いた素子ではかなりの高電界を必要とするという問題がある。また、QCSE を用いた素子は比較的低電界で動作可能であるが、QCSE は超格子井戸層内の電界印加時のキャリア分極による遷移確率の低減によって生ずるため、キャリアの空間的分離が十分でないと遷移確率の低減が十分でなく、光吸収端のシフトが十分でなくなるという問題点、光吸収により光キャリアが発生しホールパイルアップが生じるという問題点がある。

【0008】さらに、図 9 (a) のような従来の半導体レーザの直接変調を行う光通信装置は、駆動回路の出力

がオン時に光出力がオンされ、駆動回路の出力がオフ時には光出力がオフのいわゆるノーマリーオフの装置構成であるのに対して、図9 (b) のような従来型の外部変調素子を用いた光通信装置では、駆動回路の出力がオフで外部変調器の印加電界が零の場合には光変調器での光吸收は無く光出力はオンで、駆動回路の出力がオンで外部変調器の印加電界がある場合には光変調器での光吸収によって光出力はオフとなるいわゆるノーマリーオンの装置構成である。従って、従来の半導体レーザの直接変調を用いた光通信装置の駆動方法と外部変調器を用いた光通信装置の駆動方法が整合しないという問題点がある。

【0009】次に、図8に示した従来の全反射型の光スイッチは、電流注入によって屈折率変化を生じさせるため、消費電力が大きい、動作速度が電界制御素子に比べて遅いという問題点がある。また、従来のタイプI超格子構造のQ C S E によっても屈折率変化が得られるが、Q C S E を用いた全反射型の光スイッチでは、図7 (d) の屈折率変化スペクトル図のように、負の大きな屈折率変化は吸収端近傍波長 λ_1 でしか得られないために、ガイド層にこの屈折率変化を生じさせる超格子そのまま用いると吸収損失が大きくなるといった問題点がある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は上記問題点を解決した光半導体素子、及び光通信装置の構成方法を提供するもので、半導体基板上に導電型クラッド層、ガイド層、逆導電型クラッド層を基本構造として有し、印加電界による吸収係数または屈折率変化を動作原理とする半導体素子において、前記ガイド層の一部が半導体材料

1、2からなる超格子構造であり、かつ各々の電子親和力 χ_1 、 χ_2 、禁制帯エネルギー $E_{\text{c},1}$ 、 $E_{\text{c},2}$ が

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{\text{c},1} < \chi_2 + E_{\text{c},2}$$

なる関係を有する、いわゆるタイプII超格子であることを特徴とする光半導体素子を第1の発明とする。

【0011】第1の発明において、光半導体素子が屈折率変化によって生ずる位相変化を動作原理とするマッハツエンダ型に構成されていることを特徴とする光半導体素子を第2の発明とする。

【0012】第1の発明において、光半導体素子が少なくとも2本の交差する導波路の交点に位置する一部の半導体層の屈折率を変化させ、全反射によって光路を切り換える全反射型光スイッチとして構成されていることを特徴とする光半導体素子を第3の発明とする。

【0013】第1の発明に記載された光半導体素子を吸収型の外部変調素子として含むことを特徴とする光通信装置を第4の発明とする。

【0014】

【作用】本発明の光半導体素子は、上述の手段をとる事

により従来技術の課題を解決した。

【0015】その原理を図1を用いて説明する。図1は本発明の基本をなすタイプII半導体超格子構造のバンド図である。タイプII超格子は、半導体材料1、2の各々の電子親和力 χ_1 、 χ_2 、禁制帯エネルギー $E_{\text{c},1}$ 、 $E_{\text{c},2}$ が

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{\text{c},1} < \chi_2 + E_{\text{c},2}$$

なる関係を有する。タイプII超格子構造では、無電界時の吸収は最低禁制帯エネルギーを有する半導体層1、2ヘテロ界面近傍のみで起こると考えられるが、電子正孔分布確率が空間的に完全に分離されている（図1 (a)）ため、極めて遷移確率が低く、間接遷移型に近い吸収特性を有する。

【0016】ところが、有電界時には電子正孔分布確率の空間分布がオーバーラップ（図1 (b)）し、遷移確率が高まるため直接遷移型に近い吸収特性を示す。従って、タイプII超格子構造は、タイプI超格子構造に比べて無電界時から有電界時の吸収変化が大きく、吸収端のシフトも大きい。

【0017】タイプII超格子をガイド層とする導波路を用いた著者らの実験によれば、図2 (a) に示す様に、タイプII超格子構造の光吸収スペクトルは印加電界強度の増加に伴い、吸収端が短波長側にシフト（ブルーシフト）することが観測されている。これは電界印加によって光の遷移波長が λ_1 から λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) に変化する（図1 (a) (b) 参照）からである。この時、タイプII超格子構造の屈折率変化は図2 (b) のように負に大きく変化することも我々の実験で観測されている。

【0018】図2 (c) も我々の実験結果で、p i nダイオード構造を有する面型素子の光吸収スペクトルの電界強度依存性を示す図である。印加電界強度の増加に伴い吸収端はブルーシフトする。また、図2 (c) に示した様に、吸収係数が増加する波長 λ_1 と吸収係数が減少する波長 λ_2 がある。この時、屈折率変化スペクトルはクラマース・クローニッヒの関係から求めることができ、図2 (d) の様になる。図2 (c) (d) から、タイプII超格子構造では、吸収変化がほとんどない波長域で大きな負の屈折率変化が得られることがわかる。この点が図7 (c) (d) に示した従来のタイプI超格子構造の様相と大きく異なっている。

【0019】以上の様に、本発明のタイプII超格子構造の吸収係数はある適当な波長域では印加電界の増加と共に減少し、別の波長域では増加するという特徴を有している。また、タイプII超格子構造の屈折率変化は、バルク半導体層のフランツ-ケルディッシュ効果と比べると大きく、タイプI超格子構造のQ C S E と比べると、屈折率変化の大きさは同程度であるが、その符号は反対であり、吸収端から比較的離れた長波長側で負の屈折率

変化が得られるという特徴を有している。

【0020】従って、本発明の第一の作用として、タイプII超格子構造を用いた吸収型光半導体素子では、低電界動作で大きな吸収係数変化を得ることが可能であり、電界印加によって光吸収が減少するような波長域を用いた吸収型の光半導体素子においては、光吸収により光キャリアが発生しホールパイルアップが生じるという問題点は生じない。

【0021】また、本発明の第二の作用として、タイプII超格子構造を用いた吸収型光半導体素子では、電界印加によって光吸収が急激に増加するような波長域も利用でき、この場合には従来のタイプI超格子構造の光半導体素子よりも低電圧で動作が可能である。

【0022】次に、第三の作用として、本発明の光半導体素子を第一の作用で用いた場合には、従来の半導体レーザを用いた光通信装置と整合するノーマリオフの光通信装置の構成が可能である。

【0023】さらに、第四の作用として、タイプII超格子構造の電界効果を屈折率制御型光半導体素子に用いた場合、吸収端から比較的離れた長波長側で負の屈折率変化が得られ、かつ吸収変化が少ないため、従来よりも小型で低損失の光半導体素子が得られ、その際の消費電力は小さくかつ高速動作が可能である。

【0024】

【実施例】本発明の光半導体素子の実施例を図面に用いて詳細に説明する。

【0025】図3(a)は本発明の第1の実施例(第一の作用に対応)である電界吸収型の光半導体素子の斜視図である。この実施例は、n型InP基板1上に、n型クラッド層2(層厚 $0.5\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)、ノンドープInP/InAlAs超格子ガイド層3、p型InPクラッド層4(層厚 $1.5\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)、p型InGaAsコンタクト層5(層厚 $0.2\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)をガスソース分子線エピタキシャル成長法で順次積層する。その後反応性イオンビームエッティング(RIBE)によってn型クラッド層2の途中までエッティングし、リブ導波路を形成する。ここで、ノンドープInP/InAlAs超格子ガイド層3は本発明によるもので、InP(70オングストローム)/InAlAs(70オングストローム)を30周期積層しており、この時、伝導帯不連続量 $\Delta E_v = 0.38\text{eV}$ 、価電子帯不連続量 $\Delta E_c = 0.26\text{eV}$ を有する図3(b)に示した様なバンド構造のタイプII超格子構造となる。リブ導波路上部と基板の裏面に電極を形成して素子は完成する。

【0026】図3(a)に示した光半導体素子に、タイプII超格子の吸収端に近い波長 $\lambda_s = 1.125\mu\text{m}$ の光を入射し素子に電圧を印加すると、図2(a)の様に、印加電界強度の増加と共に吸収係数が減少する。図

2(a)から分かるように、E_sのような無電界時には光の吸収が大きく光出力はオフとなり、E_cのような有電界時には吸収端のブルーシフトによって光の吸収は少なくなり、光出力はオンの状態となる。我々の実験では、印加電圧3Vで消光比(=光出力オン/光出力オフ)は13dB以上であった。このように、本発明では低電圧で大きな吸収係数変化が得られる。また、有電界時の光吸収が無いため、従来のタイプI超格子で問題となるホールパイルアップによって実効的な電界強度が弱まる事はなく、キャリアの引き抜きも早いために高速変調時に応答劣化が生じる事もない。

【0027】図4は本発明の第2の実施例(第二の作用に対応)である電界吸収型の光半導体素子の断面図である。層構造は図3の従来例と同様であるが、この実施例は面型の変調器であり、InGaAsコンタクト層5での光の吸収が生じないようにInGaAsコンタクト層5の一部を硫酸系(H₂SO₄、H₃O₂、H₂O₂の混合液)の選択エッチャントによって除去し、電極も光の入出射を行う部分は除去する。この素子に、波長 $\lambda_s = 1.08\mu\text{m}$ の光を入射する。図2(c)で明らかのように、波長 λ_s の光に対しては、光吸収は電界印加によって急激に増加する。この時の電界印加による吸収変化は、従来のタイプI超格子のQCSEよりも大きいため、低電圧で大きな消光比が得られる。我々の実験では、図4のような面型変調器で消光比13dB以上が得られている。本実施例のような面型変調器は光の並列性を使うことができるため、光コンピュータ等への適用も可能である。

【0028】図9(c)は本発明の第3の実施例(第三の作用に対応)である光通信装置の構成図である。図3(a)の様な本発明の第一の作用で動作する吸収型の光半導体素子を含む光通信装置では、駆動回路Aの出力がオフの無電界時には光吸収があるため光出力はオフとなり、駆動回路Aの出力がオンの電界印加時には光吸収は減少し光出力はオンとなるノーマリーオフの装置構成が可能である。この時の駆動回路Aは図9(a)の半導体レーザ直接変調型光通信装置の駆動回路Aと同じとなり、駆動回路を新たに設計変更する必要はない。これに対して、図7(b)(c)に示したフランツケルディッシュ効果やQCSEを用いる従来の吸収型外部変調器を用いた図9(b)のような光通信装置では、従来型外部変調器が電界印加によって図7(b)(c)に示されているような吸収変化を生ずるため、光通信装置の駆動回路Bの出力がオフの無電界時には光吸収がなく、光出力はオンとなり、駆動回路Bがオンの有電界時には光吸収が生じ、光出力はオフとなるノーマリーオンの装置構成となる。この場合には、図9(a)のような半導体レーザ直接変調型光通信装置と互換性がなく、根本的な駆動回路の設計変更が必要となる。

【0029】図5(a)(b)はそれぞれ本発明の第4

の実施例（第四の作用に対応）であるマッハツエンダ型光半導体素子の上面図と断面図である。基本的な製造方法は図3の電界吸収型光半導体素子と同じであるが、一本の光導波路を二本の位相変調光導波路に分岐し、これを一本の光導波路に合流したマッハツエンダ型の構成となっている。但し、リッジ20形成時のRIBEエッチングはp型InPクラッド15の途中で止めている。素子は二本の位相変調光導波路に各々独立の電極を設け、基板裏面電極を設けて完成する。

【0030】図5の光半導体素子に波長 $\lambda = 1.3 \mu m$ の光を入射し、一方の位相変調光導波路に電圧を印加すると、その光導波路では図2(b)（または図2(d)）のような屈折率変化が生じ、合流した出力光導波路では二本の位相変調光導波路の光に位相差が生じることによって光の変調が行える。図5(a)(b)に示した本発明のマッハツエンダ型光半導体素子の印加電圧に対する消光特性を図5(c)に示す。印加電圧3.5Vで15dB以上の大きな消光比が得られている。図2(a)で明らかなように、本素子では $\lambda = 1.3 \mu m$ の光に対する光吸収がない。従って、光キャリアの発生がなくホールパイルアップの様な現象は生じないため、本質的な高速動作が可能である。また、吸収の変化がないために一方の位相変調部の損失変化によって、消光比が劣化するという問題もない。なお、本実施例ではCR時定数で制限される周波数帯域拡大のために、電極パッド下にポリイミド16を用いて素子容量0.6pF以下の低容量化を実現している。

【0031】図6は本発明の第5の実施例（第四の作用に対応）である全反射型光スイッチの斜視図とA-A'での断面図である。基本的な製造方法は図5のマッハツエンダ型の光半導体素子と同じであり、p型InPクラッド層4の途中でRIBEによるエッチングを止めてリッジ20を形成している。本実施例の素子は、二本の交差する導波路の中央に屈折率を変化させる電界印加領域への電界印加のための電極を設け、基板裏面電極を形成することで完成する。

【0032】この素子に波長 $\lambda = 1.3 \mu m$ の光を図のPinから入射すると、無電界時には図6のP₁から出射するが、電界印加領域に電圧を印加すると、電界印加領域下のガイド層に、図2(b)の様な負の屈折率変化が生じ、この電界印加領域と電界が印加されないガイド層の間に全反射条件が満たされると、電界印加領域下を全反射面として光路が切り替わり、図6のP₂から出射する。この屈折率の変化を用いる点は、図8に示した従来例のキャリア注入プラズマ効果によって負の屈折率変化が生じ、全反射を起こす光スイッチと同じである。ところが、本発明は、電圧制御によって全反射を生じさせ、光路の切り替えを行う光スイッチであることが従来例とは大きく異なる。本発明の消費電力は逆バイアスを用いた電圧駆動素子のため小さく、応答速度は電流注入

型の光路切り替え光スイッチよりもはるかに高速である。更に、光の吸収がないためホールパイルアップが無く、この点からも高速動作が可能である。また、ガイド層における光の吸収も少ないため、従来よりも伝搬損失の低減が可能である。

【0033】以上、本発明の実施例について説明してきたが以下で若干の補足をする。実施例では何れもInP/InAlAsタイプII超格子構造を適用しているが、原理的にタイプII超格子構造を有していればどんな材料でも良く、例えば他に、InGaAsP/InGaAlAs、InGaAlAs/GaAlAsSb超格子系に関しても適用可能である。また、このタイプII超格子構造を用いて形成される光半導体素子の導波路構造をどのような形態で形成するか、電界印加手段をどの位置にどのような形態で形成するかは、利用される光の波長、行われるべき機能等によって適当に決定すれば良い。

【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によって得られた光半導体素子は、タイプII超格子層を光吸収層として用いることにより、吸収係数変化の大きな即ち消光比が大きな吸収型光半導体素子が得らる。また、タイプII超格子層を屈折率変化部に用いる事により、光吸収変化が無く屈折率変化が負に大きい屈折率制御型光半導体素子が得られる。これらの素子は何れも低電力・高消光比・高速である。更に、吸収型光半導体素子を用いた光通信装置ではノーマリーオフの装置構成も可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本原理でタイプII超格子構造のバンド構造図を示す。

【図2】本発明の作用を説明するための図で、(a) (c)は吸収係数スペクトルの電界依存性、(b) (d)は屈折率変化スペクトルの電界依存性を示す。

【図3】本発明による電界吸収型光半導体素子の斜視図と超格子ガイド層のバンド図を示す。

【図4】本発明による面型の電界吸収型光半導体素子の断面図を示す。

【図5】本発明によるマッハツエンダ型の光半導体素子の上面図(a)と断面図(b)とその印加電圧に対する消光特性図(c)を示す。

【図6】本発明による全反射型の光スイッチの斜視図(a)とA-A'で切断した図(b)を示す。

【図7】従来のバルク又はタイプI超格子構造を用いた電界吸収型光半導体素子の斜視図(a)とその原理を説明する吸収係数スペクトルの電界依存性(b) (c)と屈折率変化スペクトルの電界依存性(d)を示す図。

【図8】従来の全反射型光スイッチの上面図。

【図9】従来の半導体レーザを用いた光通信装置の構成図(a)と従来の吸収型光半導体素子を外部変調器とし

て有する光通信装置の構成図 (b) と本発明による光半導体素子を用いた光通信装置の構成図 (c) を示す。

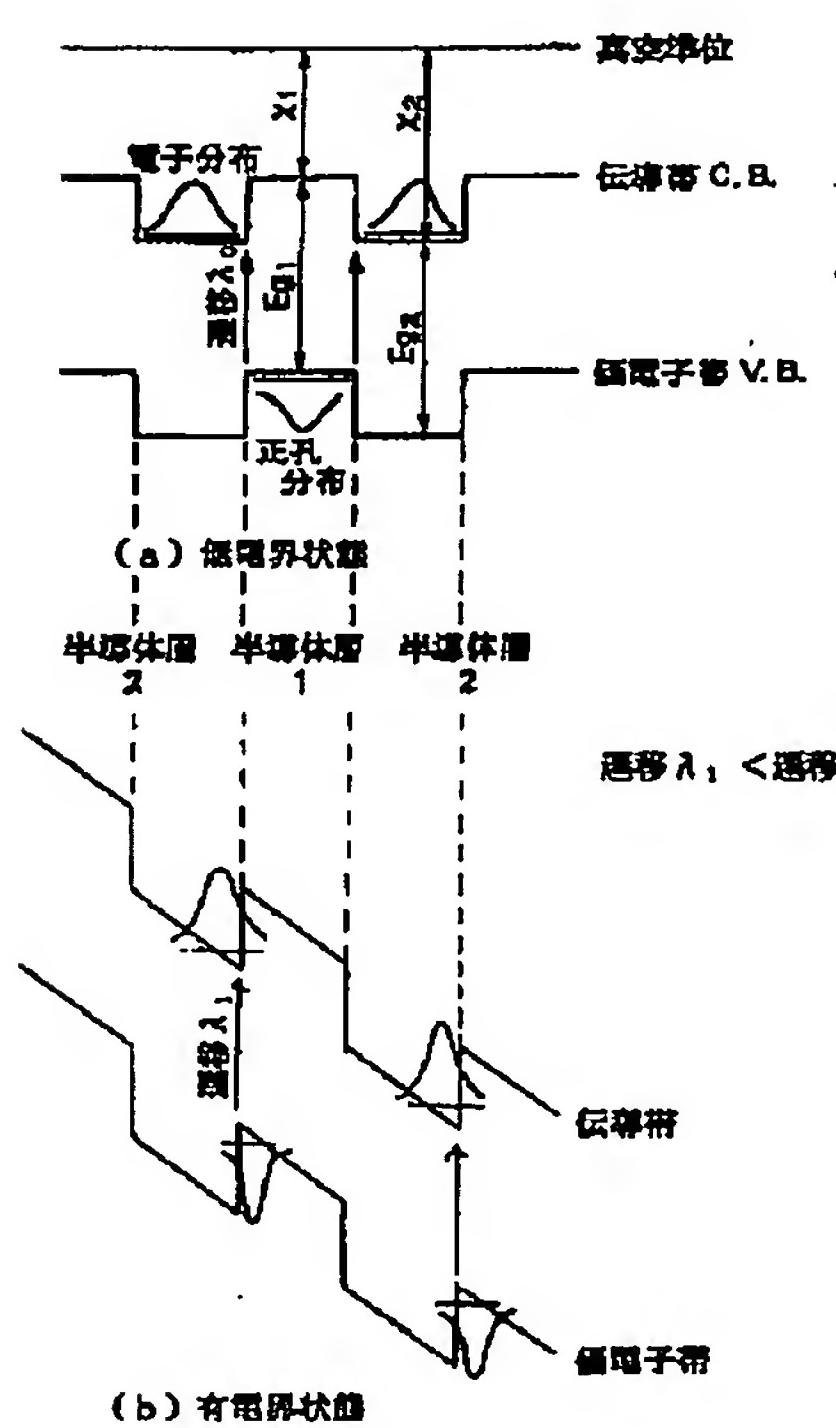
【符号の説明】

- 1 n型 InP 基板
- 2 n型 InP クラッド層
- 3 ノンドープ InP / InAlAs タイプ II 超格子ガイド層
- 4 p型 InP クラッド層
- 5 p型 InGaAs コンタクト層
- 6 p電極
- 7 n電極
- 8 入射光

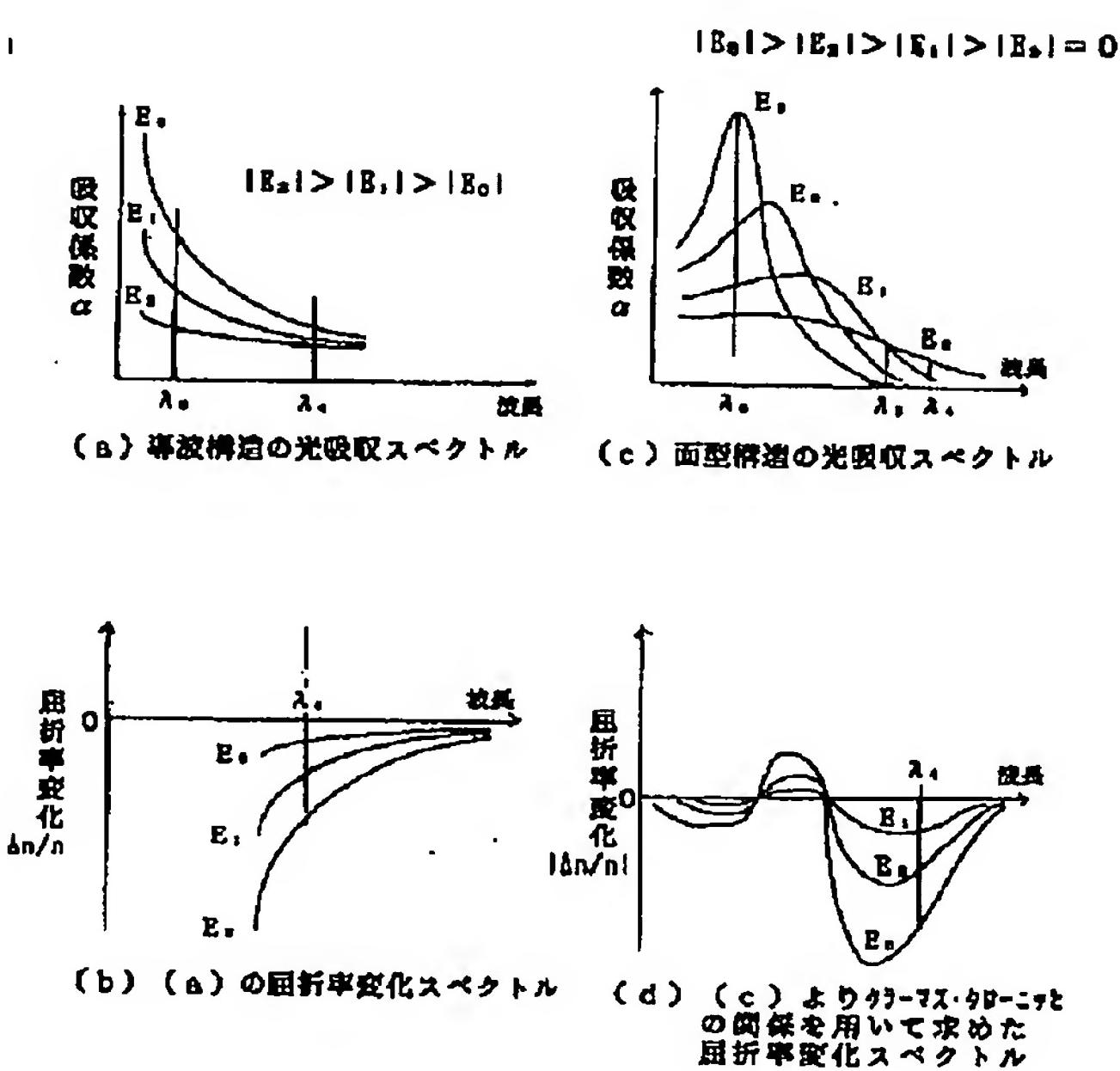
9 出射光

- 10 SiO₂ 膜
- 11 InP 基板
- 12 InP / InAlAs タイプ II 超格子ガイド層
- 13 ノンドープ InP
- 14 SiO₂
- 15 InP クラッド層
- 16 ポリイミド
- 17 Ti / Au 電極
- 18 InGaAs コンタクト層
- 20 リッジ

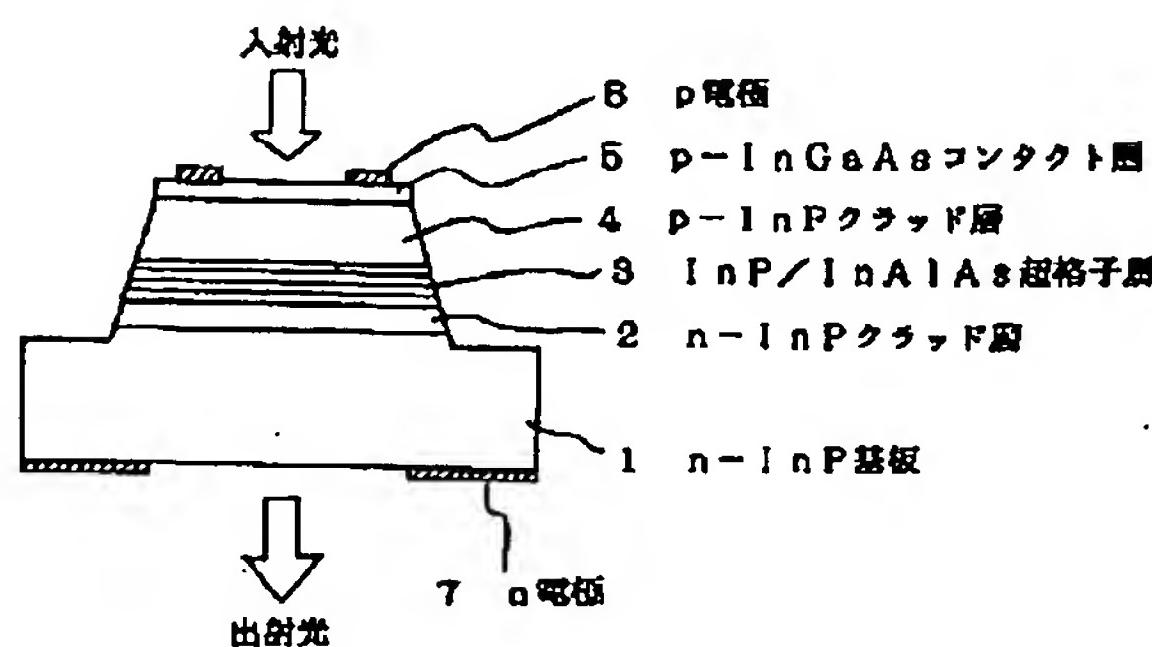
【図 1】



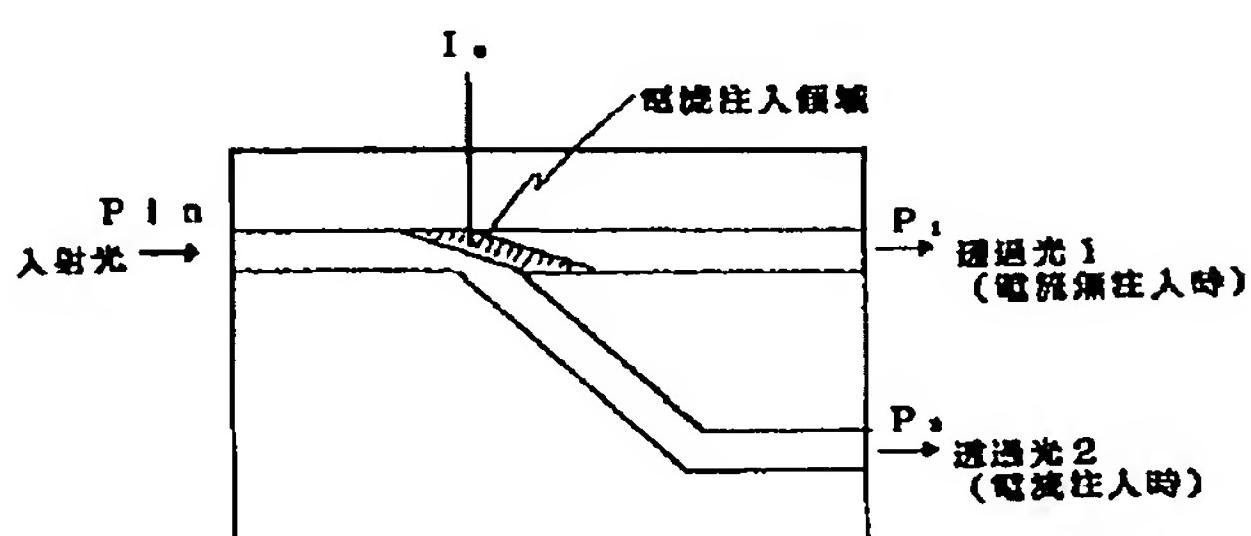
【図 2】



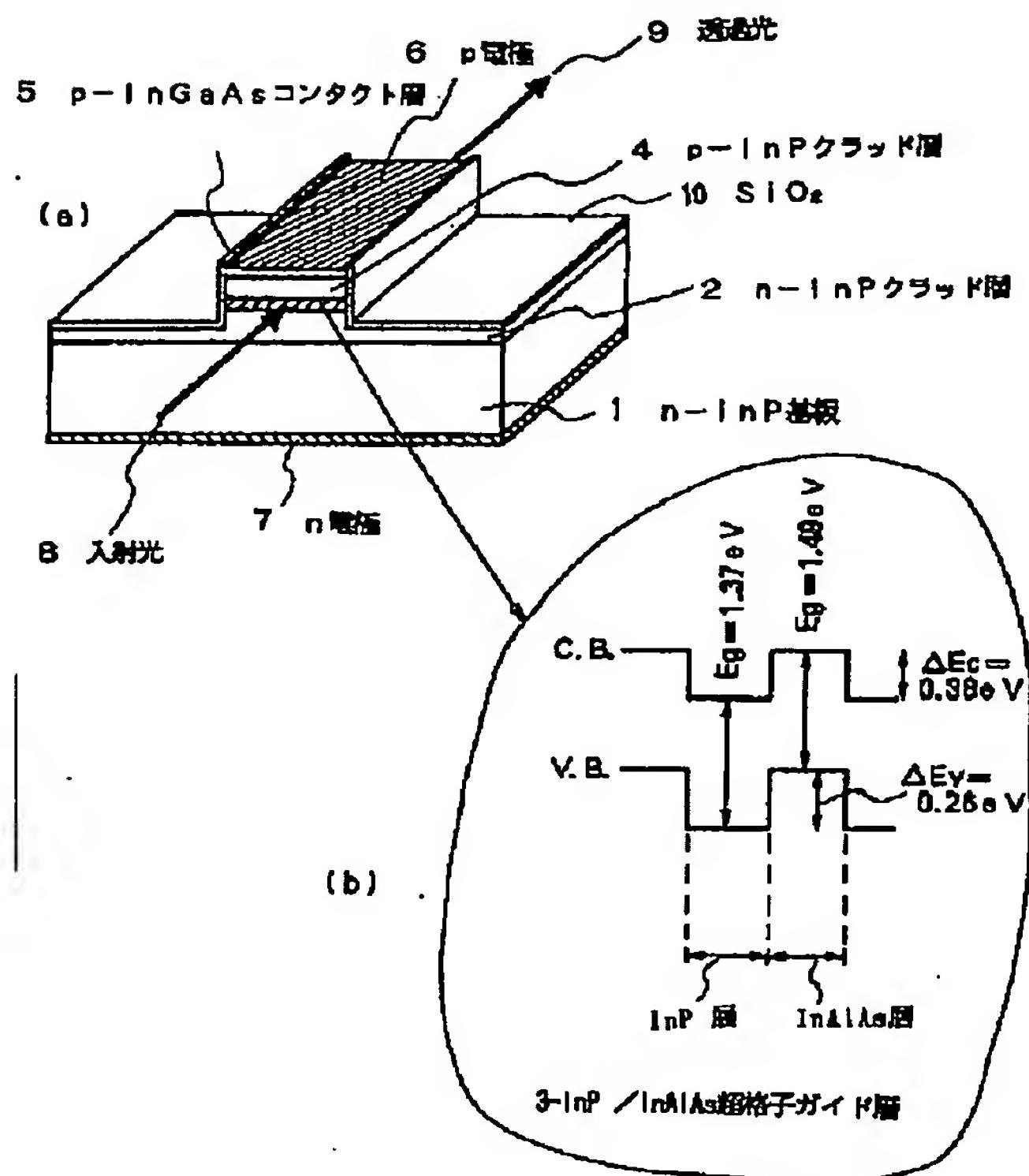
【図 4】



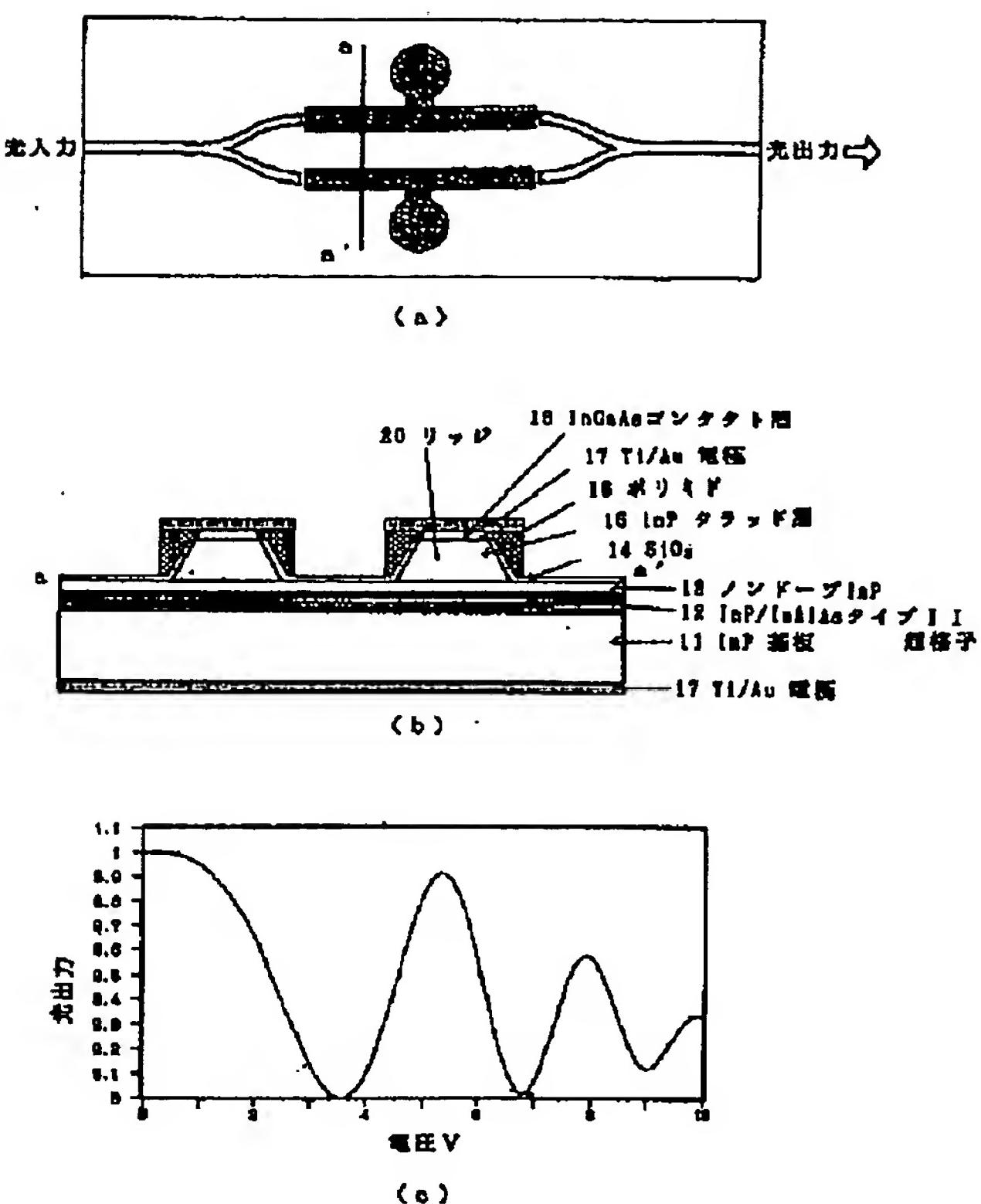
【図 8】



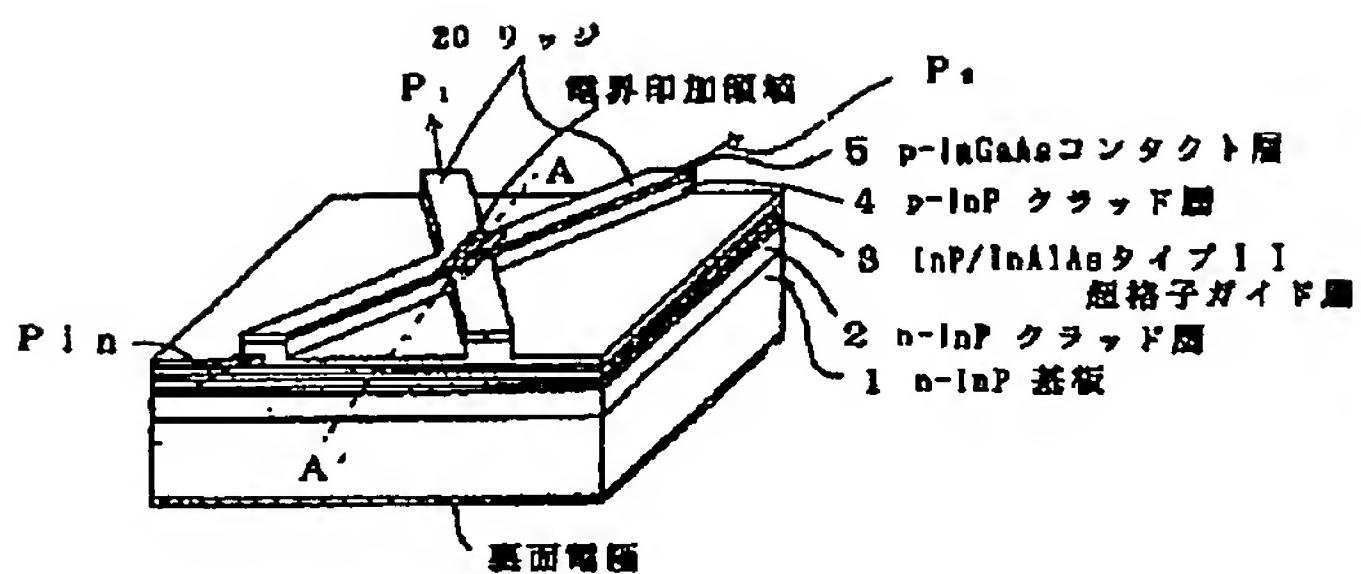
【図 3】



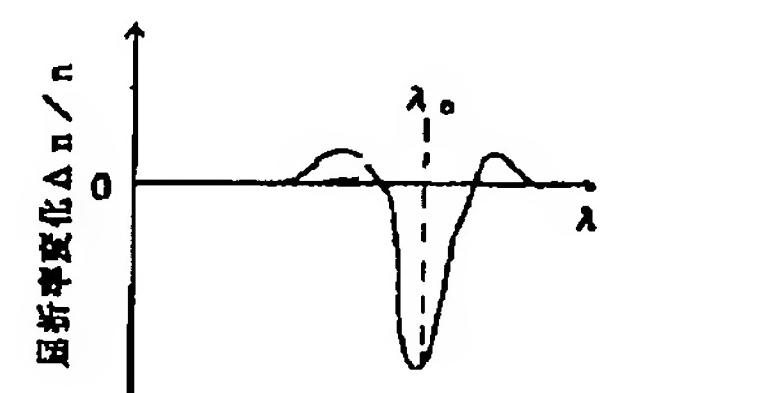
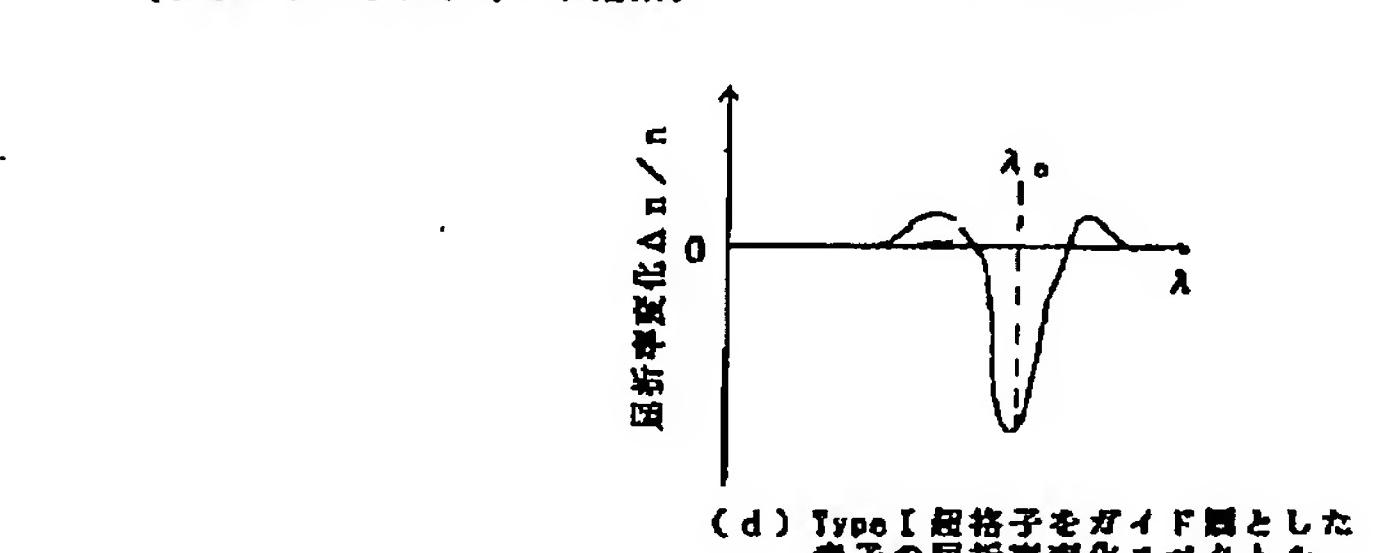
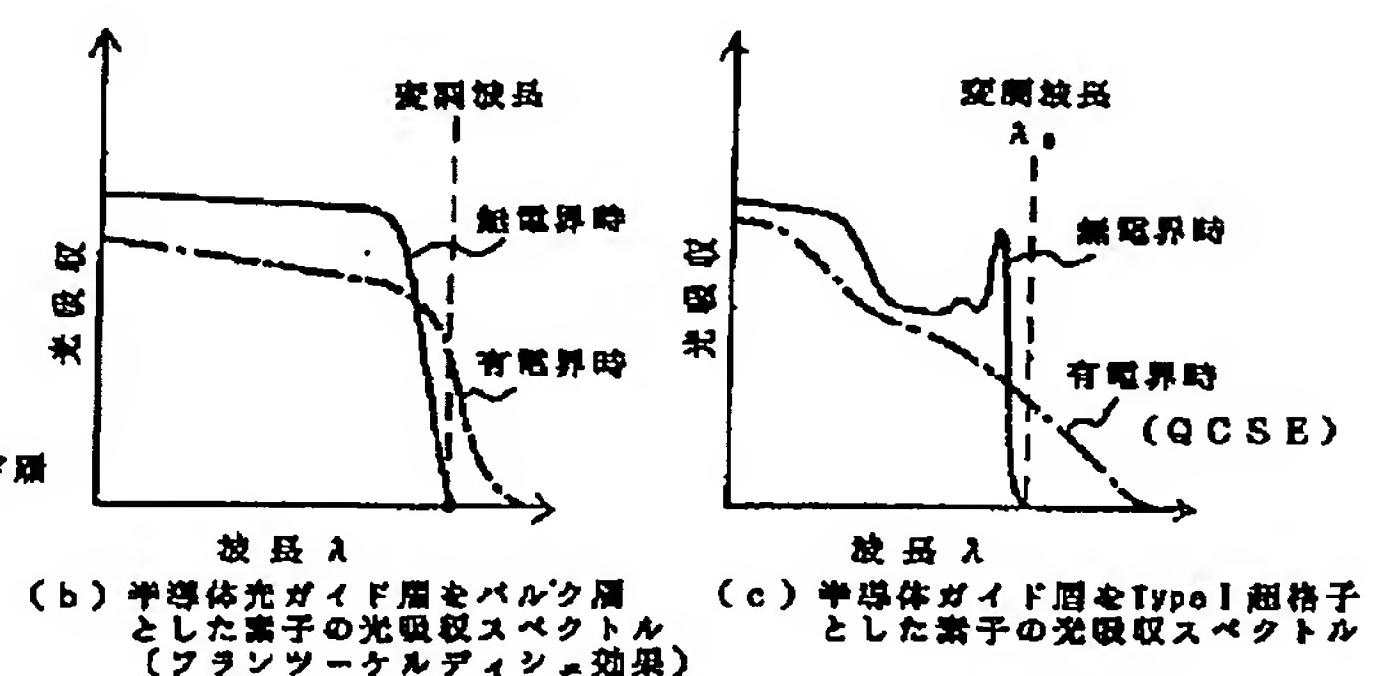
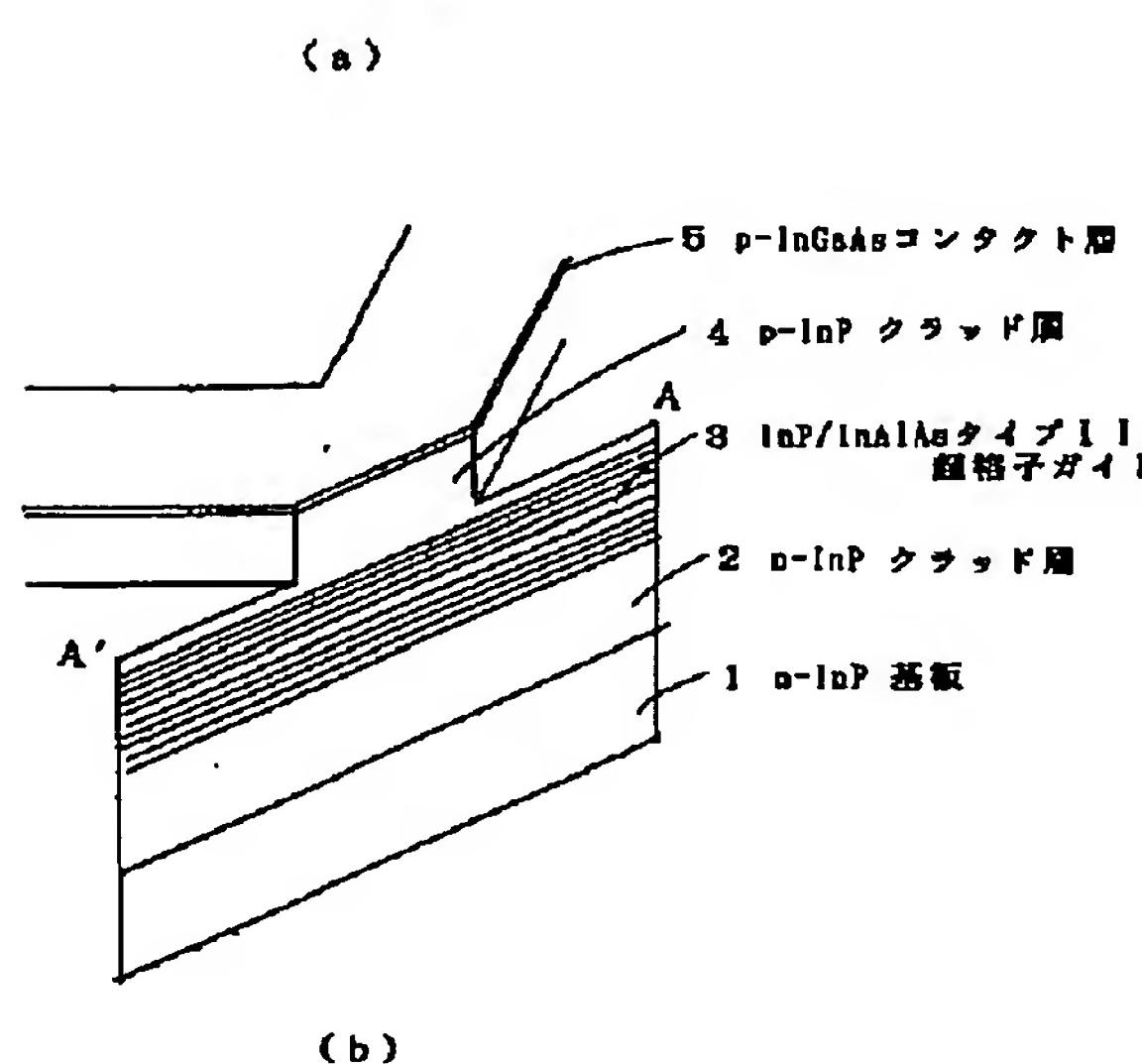
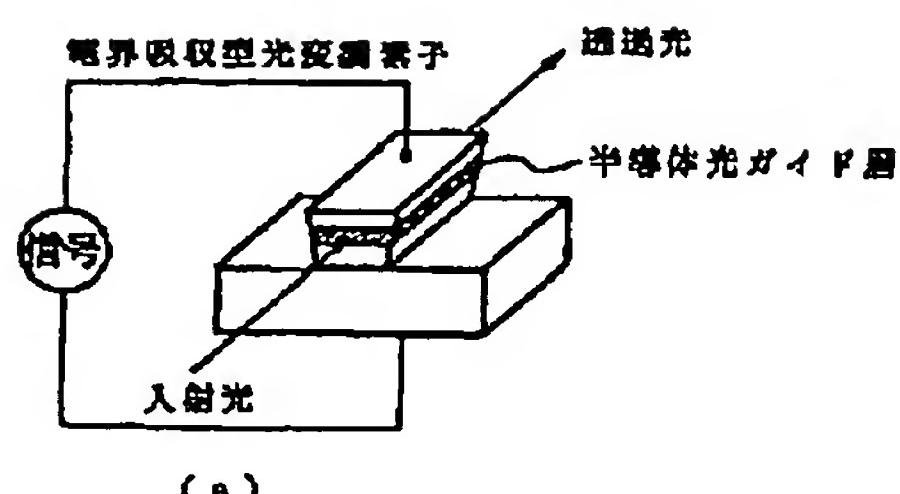
【図 5】



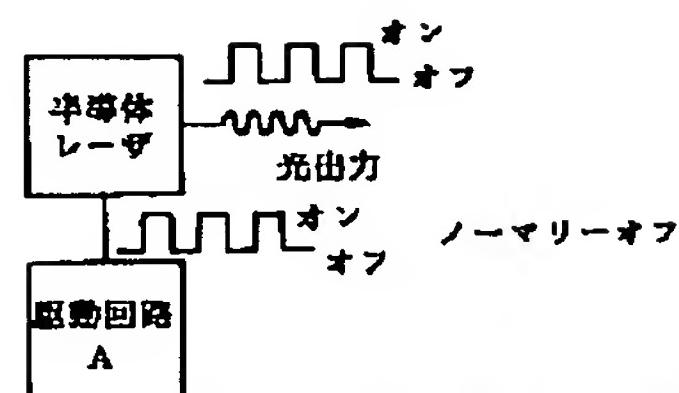
【図 6】



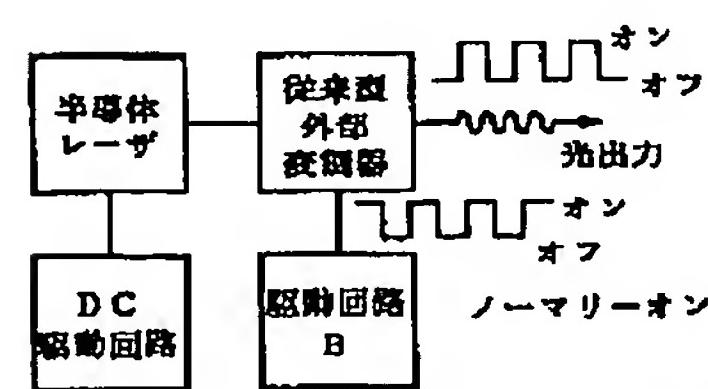
【図 7】



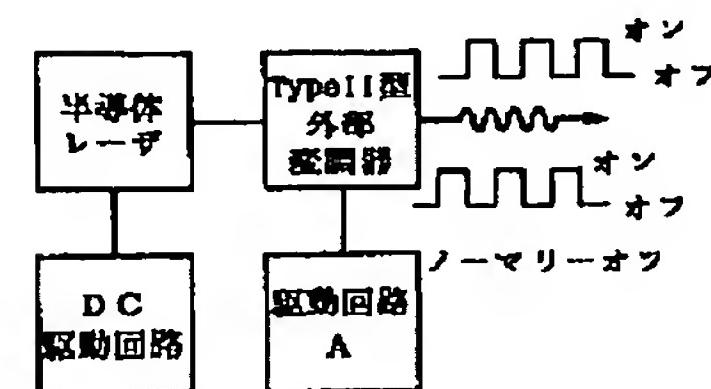
【図 9】



(a) 半導体レーザ直接変調型光通信装置



(b) 従来型外部変調器を用いた光通信装置



(c) 本発明の外部変調器を用いた光通信装置

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.